

“УТВЕРЖДАЮ”

Директор Физического института им. П.Н.Лебедева РАН

Н.Н.Колачевский

« _____ » _____ 2020 г.

О Т З Ы В

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук о диссертации Д.Д.Офенгейма “Модельно-независимый анализ эволюции нейтронных звёзд”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и звёздная астрономия

Основной целью диссертации Д.Д. Офенгейма “Модельно-независимый анализ эволюции нейтронных звёзд” является разработка методов исследования внутреннего строения нейтронных звёзд по наблюдательным данным для широкого круга современных теоретических моделей сверхплотного вещества. В диссертации удачно совмещается как теор.физические вычисления высокого уровня, так и чисто астрофизический подход (когда исследование строится на анализе роли феноменологических коэффициентов.

В первой главе предлагается модельно-независимый подход к анализу охлаждения нейтронных звезд. Для этого получены аналитические аппроксимации для нейтринной светимости и теплоёмкости нейтронных звёзд с нуклонным ядром, определяемые одними и теми же формулами для представительного набора уравнений состояния плотного вещества. Рассмотрены вклады в светимость за счёт прямого урка-процесса (без учёта порога), модифицированного урка-процесса и тормозного излучения нейтринных пар при столкновениях нейтронов. Кроме того, получена аппроксимационная аналитическая формула для закона остывания нейтронных звёзд, обладающая высокой точностью на нейтринной и фотонной стадиях остывания, а также на стадии перехода с нейтринного охлаждения на фотонное. Использование полученных аппроксимаций существенно упрощает анализ остывания нейтронных звёзд с измеренной температурой и возрастом.

Вторая глава посвящена анализу охлаждения конкретных источников. Это чисто астрофизическая глава, когда при анализе вводятся феноменологические коэффициенты, учитывающие, в частности, влияние на остывание сверхтекучести нуклонов в ядре звезды и количества легких элементов в теплоизолирующей оболочке звезды. На основе этих формул проведено сравнение предсказаний теории с данными наблюдений. При этом активно использованы аппроксимации из предыдущей главы. Показано, что теоретические условия на феноменологические коэффициенты могут заметно ограничить область возможных значений параметров нейтронных звезд, определяемых из наблюдений – например, массы и радиусы звёзд.

Третья и четвертая главы, напротив, имеют теоретико-физический уклон. Глава 3 состоит из двух частей. Первая содержит анализ последовательной системы уравнений, описывающей динамику магнитного поля в ядре нейтронной звезды в квазистационарном приближении. Показано, что в ядре звезды с магнитным полем вещество движется не как

несколько отдельных компонент, соответствующих частицам разного сорта, а почти как единое целое. Утверждается, что механизм эволюции магнитного поля за счёт его увлечения этими потоками может играть значимую роль в ядре магнитара в течение нескольких тысяч или даже десятков тысяч лет с момента его рождения. Вторая часть главы 3 посвящена расчёту электронной сдвиговой вязкости коры нейтронной звезды с магнитным полем.

Четвертая глава посвящена двум вопросам: 1) вычислению объёмной вязкости в ядре нейтронной звезды с гиперонами и 2) определению роли этой вязкости в подавлении неустойчивости g -мод колебаний нейтронных звёзд. Показано, что учёт канала слабого неупругого взаимодействия барионов в гиперонном веществе за счёт обмена мезоном приводит к значительному усилению объёмной вязкости и позволяет рассматривать гипотезу о наличии гиперонов в ядрах нейтронных звёзд как перспективный способ решения парадокса g -мод.

К диссертации можно сделать следующие замечания.

- В первой главе автор анонсирует вычисление парциальных вкладов различных процессов генерации нейтрино. Однако далее основные расчетные формулы (1.9), (1.10) и (1.11) приводятся без вывода и даже без комментариев.
- Теория остывания нейтронных звёзд, которой посвящены главы 1 и 2, используется не только для исследования одиночных звёзд с измеренными температурой и возрастом, но и для анализа тепловых состояний нейтронных звёзд в составе мягких рентгеновских транзиентов. Однако в диссертации этот класс объектов не упоминается вообще.
- Третью главу логичнее было бы разбить на две – про магнитное поле в ядре звезды и про сдвиговую вязкость в замагниченной коре.
- Диссертация не есть оригинальная статья. Поэтому в ней не стоит ссылаться на полученные ранее работы (имеется в виду работа автора [8]), а необходимо как раз привести подробно эти расчеты.
- Утверждение, что механизм эволюции магнитного поля в ядре звезды за счёт увлечения поля потоками вещества будет играть существенную роль, основано на примитивной оценке характерного времени эволюции поля. Такое утверждение представляется несколько спекулятивным. Для строгого подтверждения этого вывода нужно проводить полноценное численное моделирование эволюции магнитного поля в ядре нейтронной звезды с учетом механизма генерации самого магнитного поля.
- В ряде статей других авторов (например, ссылка [118] в списке литературы) рассматривается в точности такая же система уравнений, что и в диссертации, при наличии ненулевых скоростей электронов, протонов и нейтронов. При этом скорость потока вещества ядра как целого в этих работах оказывается много меньше, чем в диссертации. С чем это связано?
- При постановке задачи в третьей главе утверждается, что «будут рассматриваться лишь малые возмущения среды. Невозмущённые состояния относятся к звезде без магнитного поля...» и с нулевыми скоростями всех трех компонент. В такой постановке задачи непонятно, почему в системе уравнений (3.5) содержатся слагаемые, квадратичные по возмущению. Наличие таких слагаемых требует обоснования.
- Автор утверждает, что для анализа динамики магнитного поля можно ограничиться моделью невращающейся нейтронной звезды. Однако хорошо известно, что именно

вращение является ключевым элементом в процессах генерации магнитных полей у обычных звезд и планет, где ключевую роль играет дифференциальное вращение.

- Примечание ⁵ на стр. 72 неверно – постоянным является ток I , а не тороидальное магнитное поле.
- В первой части главы 3 слабо исследована чувствительность результатов к изменению геометрии модельного магнитного поля в ядре звезды, и совсем не исследовано, как результаты зависят от модели уравнения состояния вещества ядра и массы звезды. Последнее может оказаться важным, потому что, как видно из формул раздела 3.3, форма профилей $n_b(r)$ и $n_e(r)$ играет значимую роль в формировании течений в ядре звезды.
- В главе 4 описание расчёта окон неустойчивости γ -мод слишком скупо на комментарии.
- Наконец, следует отметить, что приведенный список обозначений организован не по алфавиту, что затрудняет поиск.

Сделанные замечания не умаляют значимости результатов диссертации. Полученные результаты являются новыми, оригинальными и вносят существенный вклад в физику и астрофизику нейтронных звёзд. Результаты диссертации найдут практическое применение при решении ряда важных задач. Так, методы, разработанные в главах 1 и 2, должны помочь интерпретации новых наблюдений остывающих нейтронных звёзд; результаты главы 3 являются важным шагом на пути к построению самосогласованной модели магнито-тепловой эволюции нейтронных звёзд; вычисленная в главе 4 объёмная вязкость важна для целого ряда задач, связанных с гиперонными звёздами.

Таким образом, автор диссертации «Модельно-независимый анализ эволюции нейтронных звёзд» Дмитрий Дмитриевич Офенгейм, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником Отделения теоретической физики, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук доктором физико-математических наук, профессором В.С. Бескиным.

Отзыв обсужден на заседании семинара Отделения теоретической физики ФИАН.

Ведущий научный сотрудник
Отделения теоретической физики
доктор физико-математических наук
профессор

Василий Семенович Бескин

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук
Москва 119991, Ленинский просп., 53
Тел. +7 (499) 132-65-54
e-mail: office@lebedev.ru
Сайт: <https://www.lebedev.ru/>